

استفاده از روش نوین الکترومغناطیس برای تعیین و ارزیابی سطح آب زیرزمینی در شرایط مزرعه

سید مهدی عمادی^۱، علی شاهنظری*^۲، زهرا سادات ریاضی راد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۱

چکیده

استفاده از پیژومترها برای تشخیص جهت جریان، تعیین فشار آب در لایه‌های مختلف و طراحی سیستم زهکش زیرزمینی، بسیار زمان‌بر و پرهزینه هستند. لذا برای افزایش سرعت، دقت و کاهش هزینه‌های مطالعاتی در بررسی جریان آب زیرزمینی، روش‌های مختلف اکتشافی ژئوفیزیک می‌توانند مفید باشند. در این تحقیق برای تعیین سطح آب بین دو زهکش زیرزمینی، از دستگاه الکترومغناطیس اختراع شده (به شماره اختراع ۵۸۸۱۳ مورخ ۱۳۸۸/۲/۲۱) استفاده شد. تحقیقات در مزرعه شالیزاری دارای زهکش‌های زیرزمینی واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در دو دوره خشک (مرداد ماه) و تر (خرداد ماه) سال ۱۳۹۳ انجام شد. این مزرعه دارای سه سیستم زهکشی با اعماق و فواصل مختلف می‌باشد که هر سیستم زهکشی دارای ۹ چاهک مشاهده‌ای با عمق ۱ متر و ۹ پیژومتر با اعماق بین ۰/۲ الی ۵ متر بودند. نتایج سطح ایستابی بدست آمده از این دستگاه با داده‌های حاصل از پیژومترها و چاهک‌های مشاهده‌ای با استفاده از آزمون t ارزیابی شد. مقایسه اطلاعات سطح ایستابی نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین داده‌های روش الکترومغناطیس با روش پیژومتری یا چاهک وجود نداشته است. حداکثر درصد خطای روش الکترومغناطیس نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در پیژومتر و چاهک به ترتیب ۱۱ و ۱۳ درصد بود. بنابراین می‌توان از خروجی این دستگاه، در تهیه داده‌های مورد نیاز برای طراحی و ارزیابی زهکش‌های زیرزمینی و گسترش اطلاعات نقطه‌ای استفاده کرد که منجر به کاهش هزینه و زمان مطالعات و همچنین حداقل‌سازی اثرگذاری ناهمگنی لایه‌های زیرسطحی در طراحی و مدل‌سازی زهکش‌های زیرزمینی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پیژومتر، چاهک مشاهده‌ای، دستگاه الکترومغناطیس، سطح آب، آزمون t-test

مقدمه

با توجه به کمبود منابع آب، برای مدیریت بهینه این منابع باید سیستم‌های آبیاری و شبکه‌های زهکشی به‌طور صحیح طراحی و مدیریت شوند، در غیر این صورت عملکرد گیاه به دلیل ماندابی شدن منطقه توسعه ریشه و یا تجمع نمک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر مدیریت و طراحی ناکارآمد، منجر به خروج بیش از حد کود و اصلاح محلول از خاک شده و باعث بروز مشکلات زیست محیطی می‌شود (جیلی، ۱۳۷۹). تأثیر اصلاح پارامترهای طراحی و مدیریت سیستم‌های زهکشی زیرزمینی بر کمیت و کیفیت زه‌آب‌ها در نواحی تحت آبیاری جنوب شرق استرالیا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان

داد که با تغییر فاصله زهکش‌ها و عمق آن‌ها، کارایی زهکش‌های زیرزمینی به شدت افزایش یافته و فواید زیادی مانند کاهش تلفات آبیاری با کاهش میزان آب زهکشی شده، کاهش بار نمک خارج شده و کنترل بهتر سطح ایستابی برای مزرعه و محیط زیست به همراه داشته‌اند (Christ and Skehan). فرامرزی و همکاران (۱۳۸۴) با مطالعه روی مزرعه رودشت اصفهان بیان داشتند که پس از اجرای سیستم زهکشی در مزرعه، فواصل زهکشی پیش‌بینی شده توسط رابطه هوخهات^۴ بار آبی مطلوب را ایجاد نمی‌کنند و باعث ایجاد تنش رطوبتی و یا شرایط ماندابی برای گیاه می‌گردند و برای رفع این مشکل از یک ضریب اصلاحی در رابطه هوخهات استفاده نمودند. طراحی سیستم‌های زهکشی وابستگی زیادی به تعیین مناسب پارامترهای هیدرولیکی خاک، جهت جریان آب زیرزمینی و لایه محدودکننده دارد. یکی از کارهای زمان‌بر و پرهزینه در مطالعات زهکشی، تعیین لایه محدودکننده، سطح آب در لایه‌های مختلف و مسیر جریان آب می‌باشد. در مطالعات احداث شبکه‌های زهکشی

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار گروه ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی چالوس

* - نویسنده مسئول: (Email: aliponh@yahoo.com)

مصنوعی بوده و برای مطالعات سفره‌های زیرزمینی عمیق استفاده می‌شوند. روش فرکانس بسیار کوتاه، یکی از انواع روش‌های الکترومغناطیسی است که امکان برداشت میدان الکترومغناطیس را بدون استفاده از فرستنده‌های محلی فراهم می‌کند. در این روش استفاده از فرستنده‌های رادیویی پر قدرت نظامی با دامنه بسامدی ۱۰ تا ۲۵ کیلوهرتز که در سراسر جهان پراکنده‌اند برای تعیین سطح آب زیرزمینی استفاده می‌شود (زمردیان و حسینی، ۱۳۸۷).

روش فرکانس بسیار کوتاه برای بررسی اثرات آلودگی ناشی از دفن زباله‌های شهری بر محیط زیست و همچنین تاثیر آن‌ها روی آب‌های زیرزمینی در مناطق کم عمق غرب استرالیا به علت عدم وجود چاهک‌های مشاهده‌ای به تعداد کافی، استفاده شد. نتایج نشان داد عمق و مسیر آلودگی شناسایی و بخش‌بندی‌های مناطق آلاینده (بسیار آلوده، آلوده و دارای پتانسیل آلودگی) با دقت ۸۵ درصدی در اعماق ۹ الی ۱۵ متری به صورت مطلوبی تعیین گردید (Santos et al., and Al-Tarazi et al.). تعیین سطح آب زیرزمینی با روش لرزه‌ای انکساری و مقایسه آن با نتایج ژئوالکتریک در منطقه شهرک صنعتی عطار نیشابور انجام شد (علیزاده دربندی علیا و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج بدست آمده تا عمق حدود ۱۰ متر، تنها یک لایه زمین‌شناسی که سطح اشباع مایع آن در عمق ۵ متر قرار گرفته است، را نشان داد. همچنین برای تعیین سطح آب زیرزمینی آبخوان‌های موجود در دره‌های یوفیتا و دراگو ایتالیا به کمک روش لرزه‌ای انکساری، بیان شد که با بررسی سرعت امواج عبوری از لایه‌های زمین‌شناسی (طولی و عرضی) و نسبت آن‌ها می‌توان سطح برخورد به لایه‌های آبدار موجود در فضای خالی را در لایه‌های فوقانی تعیین نمود. همچنین مشخص شد که تغییرات زیاد در سرعت امواج طولی دلیل بر وجود لایه‌های آبدار است (Gerardo and Ferancesco., 2009).

عمادی و همکاران ضمن معرفی روش جدید الکترومغناطیس در ردیابی و تعیین محل حفر چاه در سازندهای زمین‌شناسی مختلف، تعیین سطح آب زیرزمینی و تفکیک سنگ کف در آبخوان‌های مختلف را مشخص نمود (Emadi et al., 2012). عمادی (۱۳۸۹) و عمادی و عظیمی (۱۳۹۰) با به‌کارگیری روش نوین الکترومغناطیس در منطقه عسلویه و بندر کنگان بوشهر، ضمن تعیین سطح آب زیرزمینی و عمق برخورد به آب شور، شعاع حریم چاه‌های بهره‌برداری و امکان تغذیه القایی چاه‌های مجاور ساحل را با دقت بسیار مناسبی تعیین نمودند.

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی کارایی و صحت نتایج داده‌های دستگاه الکترومغناطیس با مشاهدات مستقیم صحرائی حاصل از چاهک‌ها و پیزومترها به عنوان روشی جایگزین (سریع، کم هزینه) در مطالعات زهکشی می‌باشد. بنابراین اهداف این تحقیق را می‌توان به این شرح بیان داشت: ۱- تعیین سطح آب زیرزمینی و ضخامت لایه

معمولاً عمق مطلوب تراز آب زیرزمینی بر پایه نتایج تجربی یا معادلات موجود تخمین زده می‌شود. این تخمین با توجه به شرایط فیزیکی، هیدرولیکی و هیدرولوژیک لایه‌های زیرسطحی، به علت نقطه‌ای بودن اطلاعات کسب شده، تنوع لایه‌های خاک، تفاوت در میزان نفوذپذیری و عمق برخورد به لایه سخت در بسیاری موارد حالت مطلوب و قابل انتظار را برای کاهش ماندابی شدن یا کنترل شوری ایجاد نمی‌کند و باعث تنش گیاهی می‌گردد (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۷۷). همچنین برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در نقاطی که فاقد چاهک‌های مشاهده‌ای می‌باشند، از طریق مدل‌های ریاضی، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و آنالیز آماری استفاده می‌گردد. در هر یک از روش‌های فوق، به علت پراکندگی نامناسب پارامترهای مختلف خاک، نفوذپذیری و ضریب عکس‌العمل خاک، عموماً این مدل‌ها کارایی نداشته و در مراحل اولیه کالیبراسیون دچار مشکل جدی می‌گردند. لذا تعیین پارامترهای طراحی زهکش‌های زیرزمینی، بایستی از طریق روش‌های مستقیم (حفر چاهک‌های مشاهده‌ای و پیزومترها) و به کمک فرمول‌های موجود انجام شود. اما این روش‌ها نیز دارای محدودیت‌هایی به خصوص در برآورد سطح آب زیرزمینی هستند که از این میان می‌توان به عدم یکنواختی خاک در کل مزرعه و اثر آن بر سطح ایستابی و نیز هزینه‌بر بودن نمونه‌برداری‌ها اشاره نمود. لذا برای افزایش دقت و کاهش هزینه‌های مطالعات زهکشی نیاز به استفاده از روش‌های سریع‌تر و پیشرفته‌تر می‌باشد. یکی از راه‌های تشخیص سطح آب در لایه‌های زمین، استفاده از روش‌های ژئوفیزیک است.

از بین روش‌های ژئوفیزیک، روش‌های ژئوالکتریک (فرولیچ و همکاران، ۱۹۹۴؛ Frohlich et al., 1994)؛ لوئیز و همکاران، (Louis et al., 2002)، بولینگ و همکاران، (Bowling et al., 2007)، سوپیوس و همکاران، (Soupio et al., 2010)، رادار نفوذ زمینی (هاسل‌اشتروم، ۱۹۶۹؛ Hasselström., 1969)؛ لامبوت و همکاران، (Lambot et al., 2008)، گریل و گوادانو، (Grelle and Guadagno., 2009)، الکترومغناطیس (ساندرسن و یورگن سن، ۲۰۰۳؛ Sandersen and Jørgensen., 2003)، دانیل سن و همکاران، (Danielsen et al., 2003)، اسپیچاک و مانزلا، (Papadopoulos et al., 2004)، سلطان و سانتوس، (Manzell., 2009)، روش فرکانسی بسیار پایین (بنسون و همکاران، ۲۰۰۹؛ Benson et al., 1997)؛ هاتوت و همکاران، (Hautot et al., 2002)، شارما و باران‌وال، (Sharma and Baranwal., 2005)، زلاتیک و همکاران، (Zlotnicki et al., 2006)، خلیل و همکاران، (Khali. et al., 2009) و لرزه‌سنجی کاربرد وسیع‌تری در تعیین محل حفر چاه‌ها، تفکیک مناطق اشباع از غیر اشباع و تعیین سطح آب زیرزمینی کم عمق و عمیق دارند. کلیه روش‌های فوق مبتنی بر ارسال امواج

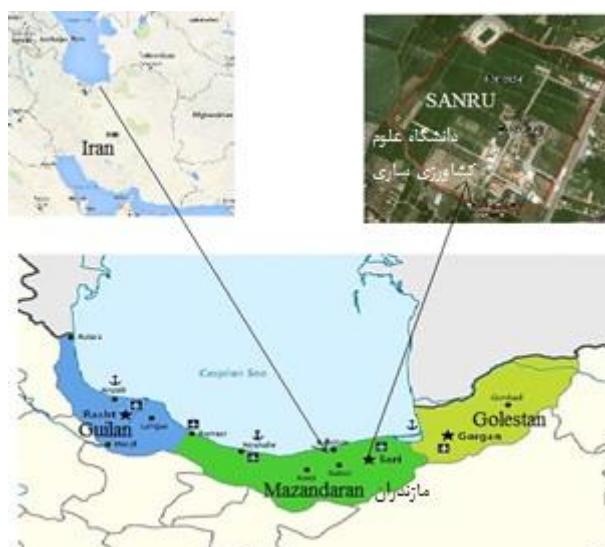
علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر ۹ جاده دریا در شهرستان ساری (شکل ۱)، طی بهار و تابستان ۱۳۹۳ انجام شد. ارتفاع اراضی از سطح دریا ۱۵- متر می‌باشد. منطقه دارای اقلیم معتدل مرطوب با پاییز و زمستان‌های با بارندگی زیاد است. طی یک دوره ۱۰ ساله (۹۴-۱۳۸۵)، متوسط بارندگی سالانه ۶۴۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جعفری تلوکلایه و همکاران، ۱۳۹۵). عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵- متر می‌باشد.

اشباع به وسیله دستگاه الکترومغناطیس و مقایسه آن با سطح آب موجود در پیژومترها و چاهک‌های مشاهده‌ای ۲- تعیین سطح آب زیرزمینی در مجاور زهکش‌های زیرزمینی و مابین آن‌ها و رسم منحنی تغییرات سطح آب به وسیله دستگاه الکترومغناطیس و مقایسه آن با شرایط واقعی، ۳- تعیین درصد خطای اندازه‌گیری به وسیله دستگاه الکترومغناطیسی و شرایط واقعی.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه پایلوت زهکشی اراضی شالیزاری دانشگاه



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و تصویری از مزرعه مورد مطالعه

محدودیت‌های مکانی و عدم امکان تعیین سطح آب زیرزمینی (چاهک‌های مشاهداتی با عمق کمتر از پنج متر) و تغییرات در فصول مختلف (با تغییرات افت چند سانتی‌متری الی حداکثر یک متری) باعث گردیده است که روش‌های ژئوفیزیکی دارای دقت کافی جهت مطالعات زهکش‌های زیرزمینی کم عمق نباشند. به همین دلیل، در مطالعات اکتشافی زیرسطحی در بررسی زهکش‌های زیرزمینی، به علت عمق کم بررسی‌ها (حداکثر یک الی پنج متر) معمولاً از روش‌های مختلف اکتشافی، کمتر استفاده شده است و عموماً روش‌های اندازه‌گیری مستقیم پارامترها مورد توجه می‌باشد. اما در این مطالعه از دستگاه الکترومغناطیس جدیدی (به شماره اختراع ۵۸۸۱۳ مورخ ۱۳۸۸/۲/۲۱) استفاده شد که با قابلیت‌های متنوع (امکان بررسی تعیین سطح آب زیرزمینی) از طریق تلفیق روش‌های مختلف ژئوفیزیکی، طراحی، ساخته و برای مطالعات ردیابی و تعیین سطح آب زیرزمینی و تفکیک لایه‌های آبدار آبخوان‌های مختلف به کارگیری

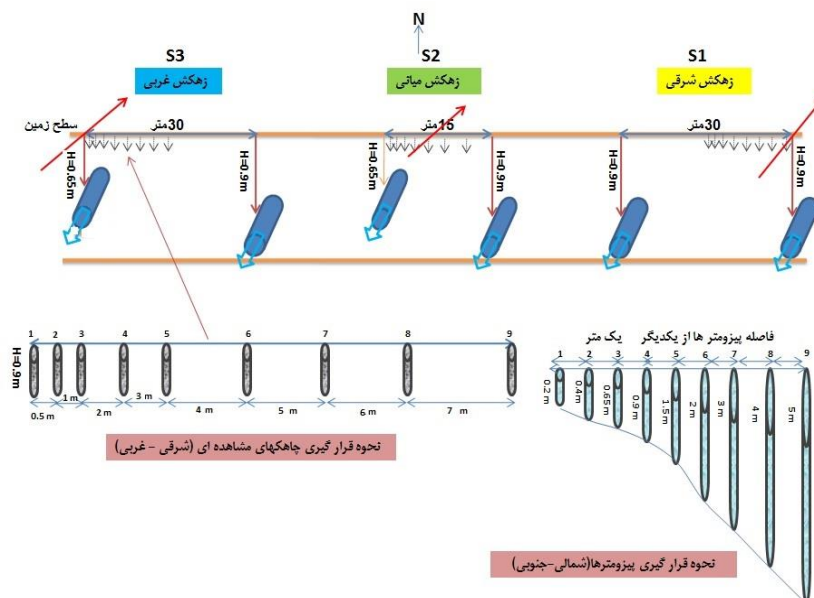
مطالعات روی سه سیستم زهکشی زیرزمینی شامل سیستم زهکشی با عمق ۰/۹ متر و فاصله ۳۰ متر (S_1)، سیستم زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۳۰ متر (S_3) و سیستم زهکشی دو عمقی با عمق‌های ۰/۶۵ و ۰/۹ متر و فاصله ۱۵ متر (S_2) (شکل ۲) انجام شد. تعداد چاهک‌های مشاهده‌ای برای هر یک از سیستم‌ها، ۹ چاهک بود که در فاصله‌های متفاوت از زهکش نصب شدند و تعداد پیژومترها که عمود بر زهکش‌ها نصب شده‌اند نیز برابر ۹ حلقه می‌باشد. چاهک‌های مشاهده‌ای تا عمق ۱ متر امتداد داشتند اما لازم به ذکر است که عمق پیژومترها ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶۵، ۰/۹، ۱/۵، ۲، ۳، ۴ و ۵ متر بودند.

نحوه نمونه‌برداری و روش مطالعه الکترومغناطیس

عمده روش‌های ژئوفیزیکی، مبتنی بر ارسال امواج مصنوعی بوده و برای مطالعات سفره‌های زیرزمینی عمیق استفاده می‌شوند. پرهزینه و زمان‌بر بودن مطالعات، اثرپذیری توسط امواج مزاحم محلی،

مذکور (با اعمال تغییرات در سنسورهای دریافت امواج) در تعیین پارامترهای زهکش‌های زیرزمینی در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته شد.

می‌شود (عمادی، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰). با توجه به شباهت نوع مطالعه (تعیین سطح آب زیرزمینی و لایه غیرقابل نفوذ) در خصوص آب‌های زیرزمینی و زهکش‌های زیرزمینی کم عمق، امکان استفاده از دستگاه



شکل ۲- موقعیت زهکش‌های مطالعاتی و نحوه قرارگیری چاهک‌های مشاهداتی و پیژومترها

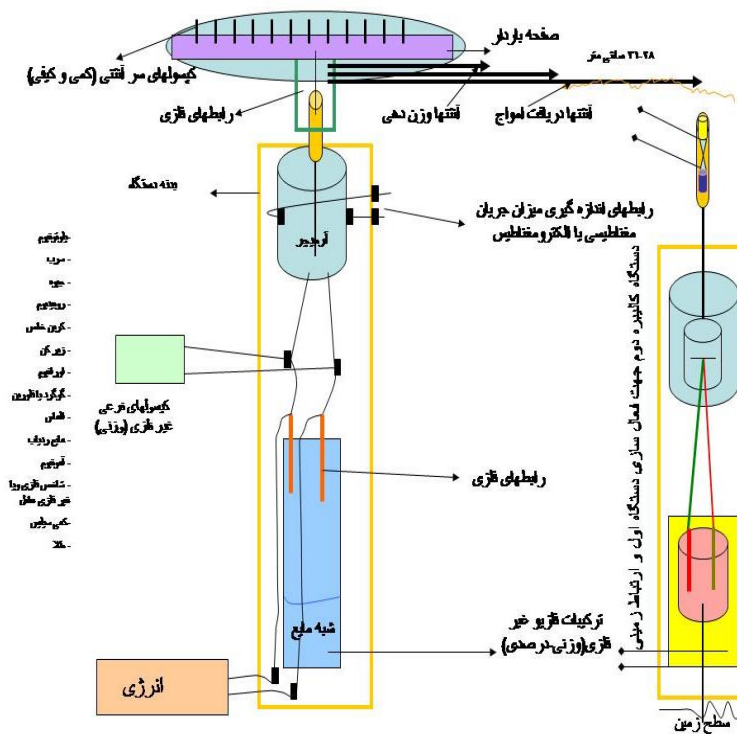
آنتن‌های دستگاه جهت تعیین سطح آب زیرزمینی، حداکثر بازشدگی آنتن‌ها (۱۸۰ درجه) در محل میله‌های برنجی کوبیده شده به زمین برابر شدت میدان دریافتی توسط دستگاه بوده که جهت حذف این میدان باید براساس شکل ۴، دستگاه از محل میله برنجی تا فاصله مشخصی روی زمین (معادل جهت بازگشت آنتن‌ها) به حالت افقی اولیه حرکت خطی صورت پذیرد. فاصله طی شده زمینی (AB) جهت حذف این میدان معادل سطح آب زیرزمینی از سطح زمین است (MN). تکرار مجدد عملیات فوق از محل میله برنجی تا فاصله مشخصی از سطح زمین (A'B') جهت حذف کامل میدان، برابر فاصله لایه غیر قابل نفوذ از سطح زمین است (M'N') که به عنوان یک فاکتور مهم در بررسی سطح آب زیرزمینی زهکش‌ها و تغییرات دوره‌ای آن در این تحقیق استفاده شده است.

برای افزایش دقت مطالعات با توجه به تنوع شرایط خاکشناسی و لایه‌های زمین‌شناسی هر یک از سیستم‌های تحت مطالعه، کالیبراسیون نقطه‌ای دستگاه از طریق روش سعی و خطا و تغییر اندازه طول آنتن‌ها در هر یک از کرت‌ها به طور مجزا از طریق یکی از پیژومترها جهت تعیین سطح آب زیرزمینی با حداقل خطای قابل قبول (کمتر از ۵ درصد) انجام شد. با توجه به اهمیت موضوع، تعیین تغییرات افت سطح آب زیرزمینی در چاهک‌های مشاهده‌ای و پیژومترها، تعیین عملکرد زهکش‌ها در کاهش سطح آب زیرزمینی و

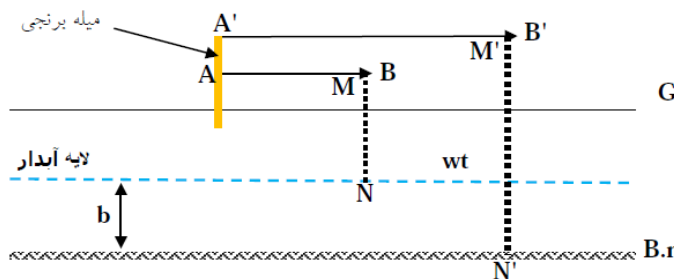
تئوری مورد استفاده در این دستگاه شامل دو بخش ساختمان دستگاه و فرمول‌های مورد استفاده می‌باشد. در ارتباط با ساختمان باید بیان داشت، میدان الکترومغناطیس انعکاسی لایه‌های زیرسطحی، در سطح زمین به علت دامنه فرکانسی بسیار پایین عملاً قابل شناسایی و تفکیک توسط دستگاه‌های موجود ژئوفیزیکی نبوده و یا بسیار مشکل می‌باشد. با استفاده از ترکیب عناصر رادیواکتیو، فلزی و غیر فلزی، سنسوری ساخته شد که نسبت به مناطق مرطوب اشباع زیرسطحی واکنشی مثبت نشان داده و این قابلیت را دارد که مناطق اشباع را به صورت میدان‌های الکترومغناطیس احتمالی با فرکانس بسیار کوتاه (طول موج بلند) شناسایی و تفکیک نماید. دریافت بازتاب امواج الکترومغناطیس احتمالی مربوط به لایه‌های آبدار زیرزمینی، در سطح زمین به صورت پالس - القاء - مغناطیس می‌باشد. با دریافت این میادین ضعیف توسط سنسورهای طراحی شده و اتصال به یک کیت الکترونیکی تقویت شده و در نهایت، اجزاء میدان الکترومغناطیس (طول، عرض، شدت و عمق بازتابش) با اتصال دستگاه از طریق میله‌های برنجی به زمین (کالیبراسیون دستگاه و حرکت روی زمین) تعیین و در مرحله نهایی، اجزاء تفکیکی مرحله قبل، به پارامترهای آب زیرزمینی شامل سطح آب زیرزمینی، سنگ کف و ضخامت اشباعی معادل‌سازی می‌گردد. در شکل ۳، شماتیک دستگاه نمایش داده شده است. در بخش فرموله، با سعی و خطاهای متعدد صورت گرفته توسط

دوره خشک و تر (مرداد و خرداد سال ۱۳۹۳) اندازه‌گیری و مشخصات لایه‌های خاک و عمق برخورد به لایه سخت نیز مشخص گردید.

محاسبه خروج آب‌های اضافی از مزرعه، انجام شد. همزمان با انجام مطالعات الکترومغناطیس، سطح آب داخل چاهک‌ها و پیژومترها در دو



شکل ۳- شماتیک دستگاه مورد استفاده در این تحقیق



$$AB=MN \quad \text{سطح آب زیرزمینی:}$$

$$A'B'=M'N' \quad \text{سنگ کف لایه آبدار:}$$

$$MN-M'N'=b \quad \text{ضخامت اشیاعی لایه اول:}$$

شکل ۴- نحوه تفکیک سطح آب زیرزمینی و معادل‌سازی زمینی آن توسط دستگاه در یک نقطه از سطح زمین

نتایج و بحث

با بررسی سطح آب زیرزمینی در ۹ پیژومتر که در وسط فاصله دو زهکش در اعماق مختلف نصب شده‌اند، مشخص گردید که سطح آب زیرزمینی (فشار نقطه‌ای) در ماه مرداد، در دو لایه (تا اعماق ۲ متری و ۳ الی ۵ متری) و در ماه خرداد، در سه لایه (تا ۱/۵ متری، ۲ تا ۳ متری و ۳ الی ۵ متری) دارای فشار بار نقطه‌ای متفاوتی بوده است.

آزمون t

مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه الکترومغناطیس با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط چاهک مشاهده‌ای و پیژومتر با استفاده از آزمون t جفت شده در نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفتند. تعداد داده‌ها ۷۳ تا ۲۱ پیژومتر و ۵۲ چاهک مشاهده‌ای) و تاریخ اندازه‌گیری خرداد بوده است.

بیشتر، مشخص گردید که از اعماق ۵/۵ متری به بعد، سفره آب زیرزمینی در منطقه شکل گرفته است که با توجه به انجام مطالعات در زهکش‌های کم عمق در سایت‌های مطالعاتی، از آن صرف نظر شده است.

این اطلاعات با اطلاعات اولیه خروجی دستگاه الکترومغناطیس (جدول ۱) که تا اعماق ۵ متری، لایه‌های خاک را به لحاظ ضخامت‌های اشباعی (محیط مرطوب) به دو منطقه طبقه‌بندی نموده (تا عمق ۳/۳ متری و ۳/۳ الی ۵ متری) کاملاً انطباق داشته است. همچنین براساس تفکیک لایه‌های آبدار صورت گرفته در اعماق

جدول ۱- مشخصات کلی تفکیکی لایه‌های اشباعی در مجاورت زهکش‌ها توسط دستگاه الکترومغناطیس

مشخصات	سیستم زهکشی (S ₁)	سیستم زهکشی (S ₂)	سیستم زهکشی (S ₃)
لایه اول (برخورد به لایه اشباعی از سطح) به متر	۳	۳/۲	۳
لایه دوم (برخورد به لایه اشباعی از سطح) به متر	۵/۳	۵	۵
لایه سوم (ورود به سفره آب زیرزمینی) به متر	۵/۵-۲۱	۵/۵-۲۰	۵/۵-۲۰
حجم گذر آبی در مقطع ۳۰ متری مجاور زهکش در خرداد ماه (لیتر در ثانیه)	۰/۳	۰/۴	۰/۴
سطح برخورد به آب زیرزمینی (متر)	۰/۵-۱/۳		

که این خطا نیز می‌تواند ناشی از تفاوت تغییرات توپوگرافی نقطه‌ای این پیزومتر در بررسی میدانی باشد. با مقایسه نتایج مطالعات در ۶۴ حلقه پیزومتر و چاهک مشاهده‌ای مشخص گردید، بیش از ۷۵ درصد اطلاعات دارای خطای کمتر از ۸ درصد بوده که این نتایج با بررسی آزمون t (جدول ۴)، گویای سطح اطمینان‌پذیری ۹۵ درصدی به خروجی اطلاعات دستگاه در تعیین سطح آب زیرزمینی می‌باشد. این نتایج با نتایج مانو و پرکو (Manu and Preko., 2014) که نتایج حاصل از بررسی الکترومغناطیسی و چاهک‌ها را دارای اختلاف اندک توصیف کرده‌اند مطابقت دارد.

پس از دریافت اطلاعات کلی لایه‌های آبدار تا اعماق ۵ متری، دستگاه الکترومغناطیس به‌طور مجزا در هر یک از سایت‌ها کالیبره و سطح آب زیرزمینی و مشخصات لایه آبدار زیرسطحی کم‌عمق، با استفاده از بررسی‌های نقطه‌ای و خطی (تعیین سطح آب زیرزمینی، ضخامت اشباعی و سنگ کف)، تفکیک گردید که خلاصه نتایج آن در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. براساس نتایج، مشخص گردید که سطح آب اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در بیشتر پیزومترها دارای خطای حداکثر ۱۱ درصد بوده و تنها در پیزومتر شماره ۳ زهکش غربی (S₃) خطای اندازه‌گیری شده ۲۴ درصد برآورد گردید

جدول ۲- مقایسه سطح آب مشاهداتی و برآوردی توسط دستگاه الکترومغناطیس در پیزومترهای مجاور زهکش‌های زیرزمینی (شرایط مرطوب - خرداد ۱۳۹۳)

شماره پیزومتر	عمق پیزومتر (متر)	زهکش شرقی (S ₁) به متر		زهکش میانی (S ₂) به متر		زهکش غربی (S ₃) به متر	
		سطح آب برآوردی با دستگاه	درصد خطا	سطح آب مشاهداتی	درصد خطا	سطح آب برآوردی با دستگاه	درصد خطا
۱	۵	۰/۹۵	۵/۲۶۳	۰/۵۵	۹/۰۹۱	۰/۵	۹/۰۹۱
۲	۴	۱/۱	۹/۰۹۱	۰/۹	-۱۱/۱	۰/۶	۷/۶۹۲
۳	۳	۰/۹۲	-۸/۷	۰/۶۶	۲۴/۲۴	۰/۶۵	۴/۴۱۲
۴	۲	۰/۶۵	۷/۶۹۲	۰/۶۷	-۴/۴۸	۰/۵	۳/۸۴۶
۵	۱/۵	۰/۵۱	۱/۹۶۱	۰/۵۲	۳/۸۶۴	۰/۵	۱/۹۶۱
۶	۰/۹	۰/۵۱	۱/۹۶۱	۰/۵	۰	۰/۵	۱/۹۶۱
۷	۰/۶۵	۰/۵۱	۱/۹۶۱	۰/۵	۰	۰/۵	۰
۸	۰/۴	خشک	۰/۵	خشک	۰/۵	خشک	۰/۵
۹	۰/۲	خشک	۰/۵	خشک	۰/۵	خشک	۰/۵

جدول ۳- مقایسه سطح آب مشاهداتی و برآوردی توسط دستگاه الکترومغناطیس در چاهک‌های مشاهداتی بین زهکش‌های زیرزمینی (شرایط مرطوب- خرداد ۱۳۹۳)

زهکش غربی (S ₃) به متر		زهکش میانی (S ₂) به متر		زهکش شرقی (S ₁) به متر		فاصله چاهک‌های مشاهداتی بین زهکش‌ها (متر)	
سطح آب برآوردی درصد	سطح آب مشاهده‌ای (متر)	سطح آب برآوردی درصد	سطح آب مشاهده‌ای (متر)	سطح آب برآوردی درصد	سطح آب مشاهده‌ای (متر)	سطح آب برآوردی درصد	سطح آب مشاهده‌ای (متر)
۲/۵۶	۰/۸	۳/۲۲۶	۰/۶	۱/۴۰۸	۰/۷	۰/۷۱	۰
۱/۳۲	۰/۷۷	۰	۰/۶	۵/۷۹۷	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۵
۰	۰/۷	۱/۷۸۶	۰/۵۵	۹/۰۹۱	۰/۶	۰/۶۶	۱
۳/۱۷	۰/۶۵	۵/۶۶	۰/۵	۱۲/۷	۰/۵۵	۰/۶۳	۲
۳/۴۵	۰/۶	۳/۸۴۶	۰/۵	۵/۱۷۲	۰/۵۵	۰/۵۸	۳
۵/۷۷	۰/۵۵	۰	۰/۵	۳/۶۳۶	۰/۵۳	۰/۵۵	۵
۴/۱۷	۰/۵	۳/۸۴۶	۰/۵	۰	۰/۵۲	۰/۵۲	۸
۸/۷	۰/۵	۰	۰/۶۵	۰	۰/۵۲	۰/۵۲	۱۱
۱۱/۱	۰/۵	۴/۱۱	۰/۷	۱/۹۶۱	۰/۵	۰/۵۱	۱۵

* سطح آب شبیه‌سازی شده مشابه فواصل ۰ تا ۱۵ متر مشاهداتی (فرض یکنواختی شرایط زمین‌شناسی)

شد که انطباق نتایج مطالعات (اندازه‌گیری مستقیم و خروجی دستگاه) در پیژومترهای تا اعماق ۲ متری نسبت به سایر اعماق (۳ الی ۵ متری) با درصد خطای کمتری همراه بوده است. این مساله می‌تواند تفاوت احتمالی لایه‌های تفکیکی تا اعماق ۵ متری (به صورت دو لایه اشباع مجزا) توسط دستگاه را در این بررسی نشان دهد.

روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در پیژومترها و چاهک‌های مشاهده‌ای در شکل‌های ۵ تا ۸، به‌طور جداگانه برای ماه‌های خرداد و مرداد نشان داده شده است. با توجه به اینکه در ماه مرداد، عمق سطح آب زیرزمینی در منطقه بیش از ۲ متر افت نموده است امکان اندازه‌گیری سطح آب در پیژومترهای با عمق کمتر از ۲ متر وجود نداشته است. با بررسی روند تغییرات سطح آب در کلیه پیژومترها، مشخص

جدول ۴- نتایج آزمون t جفت شده بین داده‌های تخمینی با دستگاه الکترومغناطیس و پیژومترهای مجاور زهکش‌ها و چاهک مشاهده‌ای بین زهکش‌ها

عنوان	اختلاف میانگین	انحراف معیار اختلاف میانگین	خطای استاندارد اختلاف میانگین	سطح اطمینان ۹۵ درصد	آماره t	احتمال دو طرفه
پیژومترهای مجاور زهکش‌ها	۲/۴۲۴۳	۱۱/۰۱۵۷	۲/۴۰۳۸	۷/۴۳۸۶ تا ۲/۵۶	۱/۰۰۹	۰/۳۲۵۳=P
چاهک مشاهده‌ای بین زهکش‌ها	-۰/۰۰۴۶۱۵	۰/۰۲۹۰۷	۰/۰۰۴۰۳۱	۰/۰۰۳۴۷۷ تا ۰/۰۲۲۷۱	-۱/۱۴۵	۰/۲۵۷۶=P

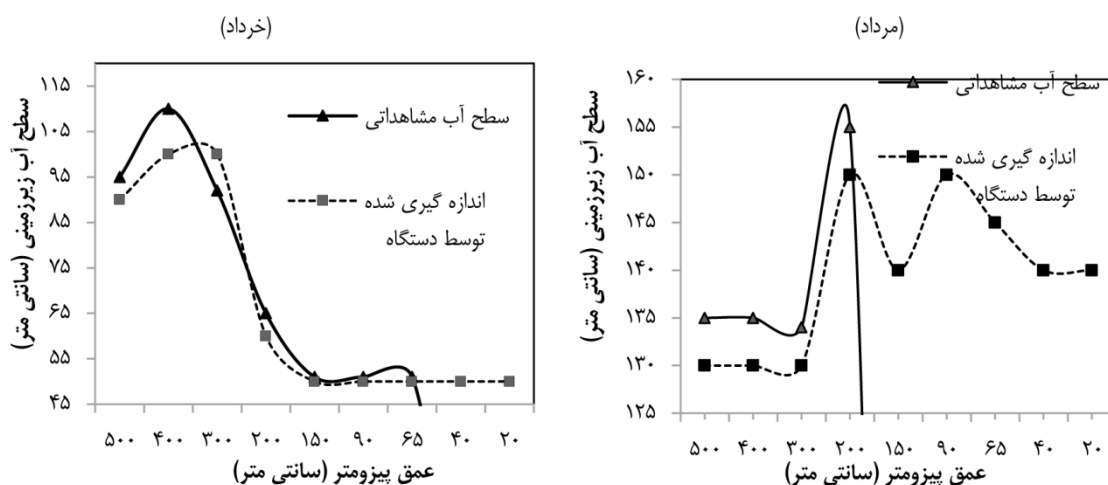
چاهک‌های مشاهده‌ای استفاده می‌شود. این چاهک‌ها در سیستم‌های زهکشی با فاصله ۳۰ متر، تا فاصله ۱۵ متری از یک زهکش، نصب شده و از نصب چاهک در ۱۵ متر مابقی با فرض شرایط یکنواخت خاک‌شناسی صرف‌نظر شد. منحنی‌های سطح ایستابی در شکل ۸ برای سیستم‌های مختلف زهکشی ارائه شده است. با بررسی تغییرات منحنی تراز رسم شده توسط چاهک‌های مشاهده‌ای و برآورد شده توسط دستگاه، می‌توان دریافت که فرض یکنواختی رسوبات در تعیین سطح آب زیرزمینی در زهکش‌های بخش شرقی و میانی وجود داشته و عدم یکنواختی در تعیین سطح آب در طول ۳۰ متر زهکش بخش

همچنین انطباق مناسب بین سطح آب اندازه‌گیری شده توسط دستگاه و چاهک‌های مشاهده‌ای سیستم‌های زهکشی مختلف با درصد خطای بسیار کم در شکل ۸ مشاهده می‌شود. به‌طور کلی نتایج حاصله با مطالعات اسمیت و همکاران (Smith et al., 2007)، علیزاده دربندی علیا و همکاران (۱۳۹۲)، نیسایس و همکاران (Nicaise et al., 2012) و مانو و پریکو (Manu and Preko., 2014) که استفاده از دستگاه‌ها و امواج الکترومغناطیس را در تعیین سطح آب زیرسطحی موفق توصیف کرده‌اند مشابهت دارد. به‌طور معمول در رسم منحنی‌های تراز آب مابین زهکش‌ها، از

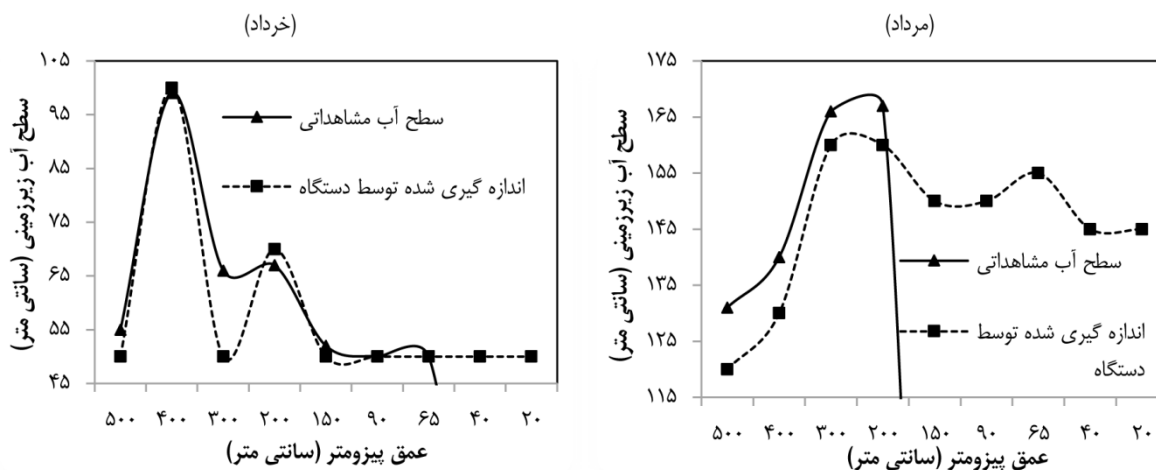
نتیجه گیری

با هدف کاهش هزینه‌های مطالعاتی و افزایش سرعت داده-برداری، برای اندازه‌گیری سطح آب در بین دو زهکش زیرزمینی در اراضی شالیزاری از دستگاه الکترومغناطیس استفاده شد. این دستگاه اختراع شده از سنسورهای جدیدی استفاده می‌کند که می‌تواند برای لایه‌های کم‌عمق به کار رود. نتایج نشان داد عملکرد دستگاه الکترومغناطیس در ارزیابی تغییرات سطح آب در اطراف زهکش‌های زیرزمینی در ماه‌های خشک و تر و تفکیک لایه‌های غیرقابل نفوذ با اطمینان‌پذیری بیش از ۹۵ درصد براساس آزمون t مناسب بود.

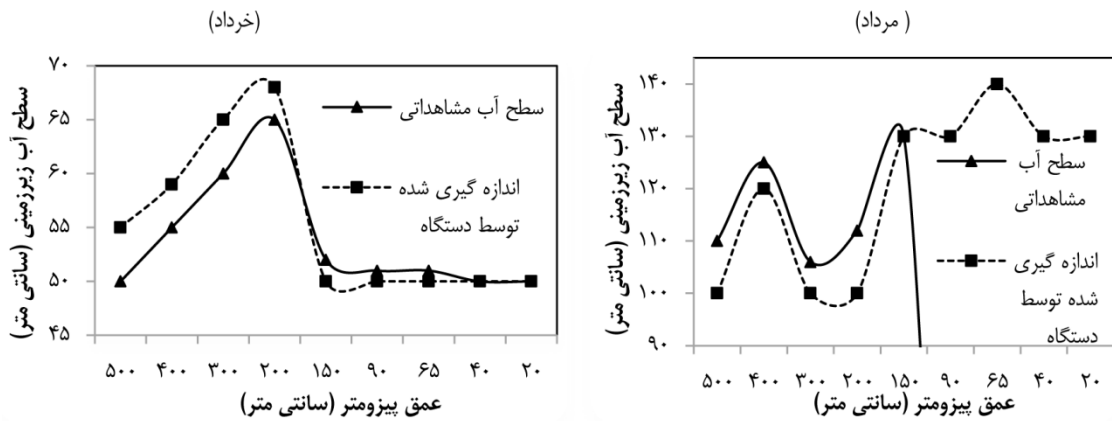
غربی نشان از ناهمگن بودن بافت خاک بوده و فرض یکنواختی افت سطح آب زیرزمینی از بخش میانی (تا فاصله ۱۵ متری) به طرف انتهای زهکش‌ها (از ۱۵ تا ۳۰ متری) صحیح نمی‌باشد. به گونه‌ای که علی‌رغم عمق نصب یکنواخت زهکش‌های شرقی و غربی (۹۰ سانتی‌متری)، ناهمگن بودن رسوبات مسیر بین زهکش‌ها (۳۰ متر) باعث گردیده است که زهکشی بخش غربی سایت شرقی نسبت به زهکشی شرقی آن دارای عملکرد بسیار مناسبی در کاهش سطح آب داشته باشد.



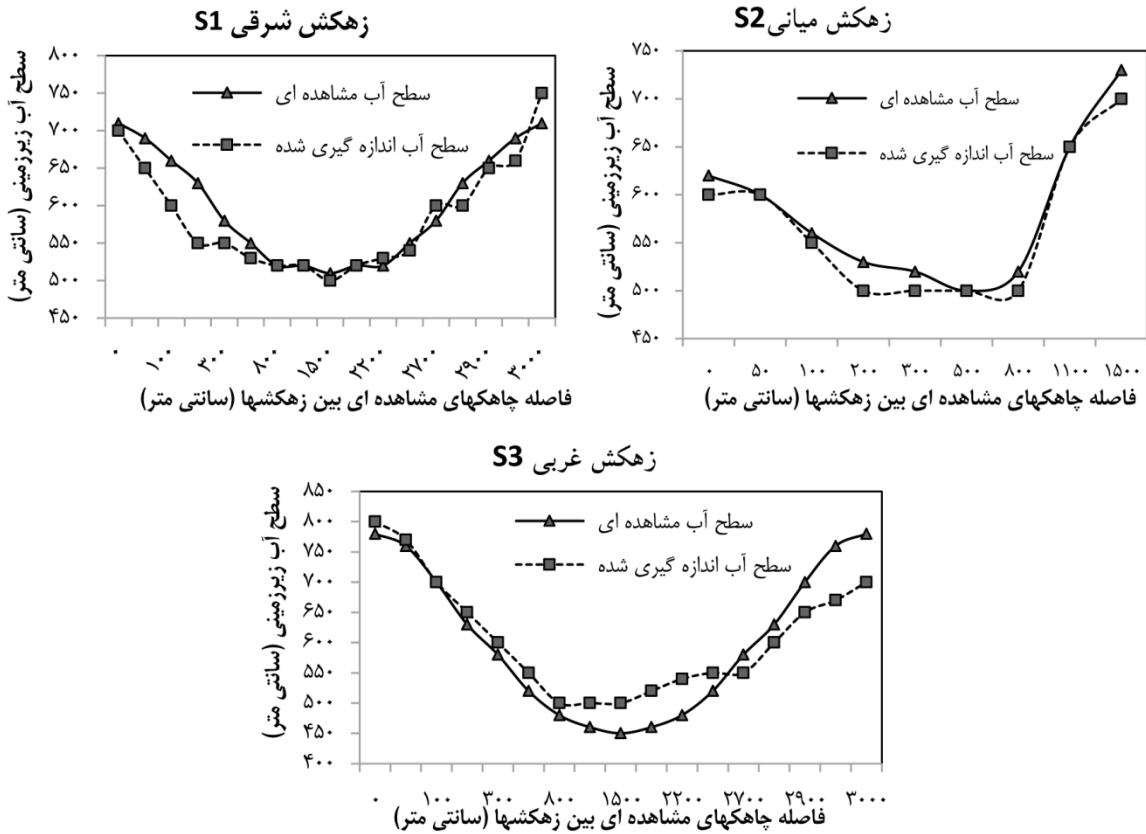
شکل ۵- نمودار مقایسه سطح آب مشاهداتی و برآوردی توسط دستگاه الکترومغناطیس در پیزومترهای مجاور زهکش‌های زیرزمینی زهکش شرقی (S1)



شکل ۶- نمودار مقایسه سطح آب مشاهداتی و برآوردی توسط دستگاه الکترومغناطیس در پیزومترهای مجاور زهکش‌های زیرزمینی زهکش میانی (S2)



شکل ۷- نمودار مقایسه سطح آب مشاهداتی و برآوردی توسط دستگاه الکترومغناطیس در پیزومترهای مجاور زهکش‌های زیرزمینی زهکش غربی (S3)



شکل ۸- نمودار مقایسه سطح آب مشاهداتی و برآوردی توسط دستگاه الکترومغناطیس در خرداد ماه در چاهک‌های مشاهداتی

در طراحی و اجرای یک پروژه زهکش زیرزمینی رفع و تضمین نتایج مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی با تولید اطلاعات گسترده مکانی فراهم خواهد شد. لذا با توجه به کارایی مطلوب این دستگاه در این تحقیق، پیشنهاد می‌گردد جهت تعیین پارامترهای مهم زهکش‌های زیرزمینی از جمله عمق لایه غیر قابل نفوذ و فشار آب در لایه‌های مختلف، قبل و بعد از اجرا در مناطق دیگر و انواع مختلف از خاک‌ها و لایه-

همچنین مشخص گردید که با استفاده از این دستگاه، می‌توان تعداد نقاط مطالعاتی را در خصوص تعیین سطح آب زیرزمینی افزایش داده و تغییرات عملکرد زهکش‌ها را به‌طور وسیع کنترل نمود. به طوری که امکان کنترل عملکرد زهکش‌ها بعد از اجرا نیز از طریق دستگاه فراهم خواهد شد و کلیه محدودیت‌های مالی، زمانی، توپوگرافی، خاک‌شناسی و تعیین ضرایب هیدرولیکی و هیدرودینامیکی

Geophysics. 65.3: 121-131.

Benson, A.K., Payne, K.L., Stubben, M.A. 1997. Mapping groundwater contamination using dc resistivity and VLF geophysical methods—A case study. *Geophysics*. 62.1: 80-86.

Bowling, J.C., Harry, D.L., Rodriguez, A.B., Zheng, C. 2007. Integrated geophysical and geological investigation of a heterogeneous fluvial aquifer in Columbus Mississippi. *Journal of Applied Geophysics*. 62.1: 58-73.

Christen, E., Skehan, D. 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 127.3: 148-155.

Danielsen, J.E., Auken, E., Jørgensen, F., Søndergaard, V., Sørensen, K.I. 2003. The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys. *Journal of Applied Geophysics*. 53.4: 181-198.

Emadi, M., Nikraves, F., Emadi, M. 2012. A new Approach for Groundwater Studies IN Arid Region Using An Electromagnetic-Based Method and Apparatus. 4th international congress of the European Confederation of Soil Science Societies (ECSSS). 2-6 July, Bari-Italy

Frohlich, R.K., Urish, D.W., Fuller, J., O'Reilly, M. 1994. Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment. *Journal of Applied Geophysics*. 32.2-3: 139-154.

Gerardo, G., Ferancesco, M.G. 2009. Seismic refraction methodology for groundwater level determination: Water seismic index, *Journal of Applied Geophysics*. 68:301-320.

Grelle, G., Guadagno, F.M. 2009. Seismic refraction methodology for groundwater level determination: "Water seismic index". *Journal of Applied geophysics*. 68.3: 301-320.

Hasselström, B. 1969. Water prospecting and rock-investigation by the seismic refraction method. *Geoexploration*. 7.2: 113-132.

Hautot, S., Tarits, P., Perrier, F., Tarits, C., Trique, M. 2002. Groundwater electromagnetic imaging in complex geological and topographical regions: A case study of a tectonic boundary in the French Alps. *Geophysics*. 67.4: 1048-1060.

Khalil, M.A., Santos, F.A.M., Moustafa, S.M., Saad, U.M. 2009. Mapping water seepage from Lake Nasser, Egypt, using the VLF-EM method: a case study. *Journal of Geophysics and Engineering*. 6.2. 101-107.

Lambot, S., Slob, E., Chavarro, D., Lubczynski, M., Vereecken, H. 2008. Measuring soil surface water content in irrigated areas of southern Tunisia using full-waveform inversion of proximal GPR data. *Near*

بندی‌های زمین شناسی متفاوت، از دستگاه الکترومغناطیس مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

زمردیان، ح و حسینی، ح. ۱۳۸۷. ژئوفیزیک کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۲۶۰ صفحه.

جبلی، ج. ۱۳۷۹. اثرات زیست محیطی زهکشیها، مقالات دومین کارگاه فنی زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه تهران. ۱۴۵-۲۳۹.

جعفری تلوکلایی، م.، شاهنظری، ع.، ضیاتیبار احمدی، م و کلانتری، د. ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات نیمرخ سطح ایستابی بین زهکش‌های دو عمقی در اراضی شالیزاری. *مجله آبیاری و زهکشی*. ۱۰: ۸۴۵-۸۳۷.

علیزاده دربندی علیا، ح.، حسینی، س. ک. صادقی، ح. ۱۳۹۲. تعیین سطح آب زیرزمینی با روش لرزه‌ای انکساری و مقایسه آن با نتایج ژئوالکتریک در منطقه شهرک صنعتی عطار نیشابور. هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۹۲.

عمادی، س. م. ۱۳۸۹. به‌کارگیری روش نوین الکترومغناطیس در بررسی امکان تغذیه واداری آبخوان‌های ساحلی (فاز ۱۲ عسلویه - بندر کنگان بوشهر). دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. آب منطقه ای زنجان. ۱۳۸۹.

عمادی، س. م. ۱۳۹۰. تلفیق به‌کارگیری روش نوین الکترومغناطیس و معادلات هیدرولیک آب زیرزمینی در تعیین شعاع حریم واقعی چاه‌های بهره‌برداری و پارامترهای آبخوان‌های آزاد، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران - دانشگاه تربیت معلم.

عمادی، س. م. عظیمی، م. ت. ۱۳۹۰. به‌کارگیری روش نوین الکترومغناطیس در بررسی امکان تغذیه واداری آبخوان‌های ساحلی، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران - دانشگاه تربیت معلم.

فرامرزی، م. مصطفی‌زاده، ب. موسوی، ف و ترابی، م. ۱۳۸۴. کاربرد رابطه هوخهات در زهکش‌های زیرزمینی در منطقه رودشت اصفهان. *مجله علوم کشاورزی ایران*. ۱۳-۱۹: ۳۶، ۱.

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۷۷. مفاهیم زهکشی و شوری آب و خاک، نشریه شماره ۲۲.

Al-Tarazi, E., Rajab, J.A., Al-Naqa, A., El-Waheidi, M. 2008. Detecting leachate plumes and groundwater pollution at Ruseifa municipal landfill utilizing VLF-EM method. *Journal of Applied*

- 125.
- Sharma, S.P., Baranwal, V.C. 2005. Delineation of groundwater-bearing fracture zones in a hard rock area integrating very low frequency electromagnetic and resistivity data. *Journal of Applied Geophysics*. 57.2: 155-166.
- Smith, B.D., Grauch, V.J.S., McCafferty, A.E., Smith, D.V., Rodriguez, B.R., Pool, D.R., Labson, V.F. 2007. Airborne electromagnetic and magnetic surveys for ground-water resources: a decade of study by the US Geological Survey. In *Proceedings of Exploration*. 7: 895-899.
- Soupios, P.M., Kalisperi, D., Kanta, A., Kouli, M., Barsukov, P., Vallianatos, F. 2010. Coastal aquifer assessment based on geological and geophysical survey, northwestern Crete, Greece. *Environmental Earth Sciences*. 61.1: 63-77.
- Spichak, V., Manzella, A. 2009. Electromagnetic sounding of geothermal zones. *Journal of Applied Geophysics*. 68.4: 459-478.
- Sultan, S.A., Santos, F.M. 2009. Combining TEM/resistivity joint inversion and magnetic data for groundwater exploration: application to the northeastern part of Greater Cairo, Egypt. *Environmental geology*. 58.3: 521-529.
- Zlotnicki, J., Vargemezis, G., Mille, A., Bruère, F., Hammouya, G. 2006. State of the hydrothermal activity of Soufriere of Guadeloupe volcano inferred by VLF surveys. *Journal of applied geophysics*. 58.4: 265-279.
- Surface Geophysics. 6.6: 403-410.
- Louis, I.F., Louis, F.I., Grambas, A. 2002. Exploring for favorable groundwater conditions in hardrock environments by resistivity imaging methods: synthetic simulation approach and case study example. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 1: 1-14.
- Manu, E., Preko, K. 2014. Estimation of water table depths and local groundwater flow pattern using the Ground Penetrating Radar. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 4.8: 1-12.
- Nicaise, Y., Marc, D., Abdoukarim, A., Daouda, M., Moussa, B. 2012. Environmental geophysical study of the groundwater mineralization in a plot of the Cotonou littoral zone (South Benin). *International Journal of Geophysics*. Volume 2012, Article ID 329827, 10 pages
- Papadopoulos, I., Tsourlos, P., Karmis, P., Vargemezis, G., Tsokas, G.N. 2004. A TDEM survey to define local hydrogeological structure in Anthemountas Basin, N. Greece. *Journal of the Balkan Geophysical Society*. 7.1: 1-11.
- Sandersen, P.B., Jørgensen, F. 2003. Buried Quaternary valleys in western Denmark—occurrence and inferred implications for groundwater resources and vulnerability. *Journal of Applied Geophysics*. 53.4: 229-248.
- Santos, F.M., Mateus, A., Figueiras, J., Gonçalves, M.A. 2006. Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method—a case study. *Journal of Applied Geophysics*. 60.2: 115-

Determination of Water Table in Evaluation of Subsurface Drainage Using Electronic Modern method

S.M. Emadi¹, A. Shahnazari^{2*}, Z. S. Rizairad³
Recived: Jul.28, 2017 Accepted: Sep.03, 2017

Abstract

Using of piezometers for determining flow path, water head in different layers and designing subsurface drainage systems is cost and time consuming. Therefore, to increase speed, accuracy and decrease research expenses, using the different methods of geophysics exploration is efficient. In this study, to determine water table between two subsurface drains, an electromagnetic device was used that invented in 2008. The research was done in paddy fields of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University during dry period (July) and wet period (May) in 2014. This pilot has three subsurface drainage system with different depth and spacing. Each system has 9 observation well with 1 m depth and 9 piezometer with depths among 0.2 to 5 m. The data measured with this device were evaluated with water table data obtained from piezometer and observation well with T-test method. The results showed no significant difference between two methods. The maximum error in electromagnetic device related to piezometer and wells were 11 and 13 %, respectively. So, this device can be used in measuring necessary data for subsurface drainage design and evaluation and also collecting and expanding point data. These characteristics will be trepanned to decrease cost and time consuming and minimizing interface of subsurface layers non homogeneity in subsurface drainage modeling.

Keywords: Electromagnetic Device, Observation well, Piezometer, T-test, Water table

1- Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Assistant Professor of Geophysics, Islamic Azad University, Chalus branch

(*-Corres Poding Author Email: aliponh@yahoo.com)